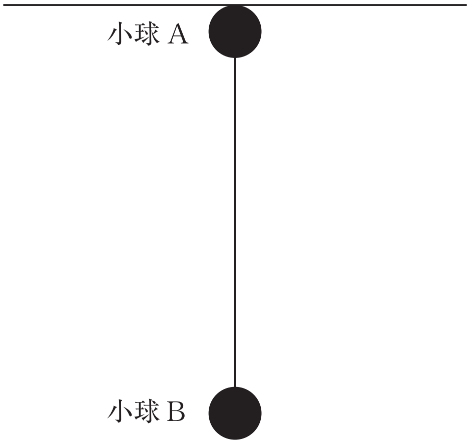
はじめに

いきなりですが，次の様な問題に答えられますか？

質量 m の小球Ａと質量 m の小球Ｂを天井からつりさげておく。小球Ｂに対し，水平方向右向きに初速 v_0 をあたえると同時に小球Ａの固定を解いた。重力加速度の大きさは g とする。



問　この後の，小球Ａ，Ｂ各々が描く運動の軌跡について述べよ。

どうでしょうか。問題の設定自体はいたってシンプルで，難しいことは聞いていないようですが，ノーヒントでいきなり問われると，何をどう考えていいのかわからず，至極難しく感じるのではないでしょうか？

実はこれは2015年度の東大前期入試の第１問Ⅱの内容です。もちろん実際の入試問題にはいくつか問がつき，それが誘導となって解き進めていく形にはなっています。しかし，

誘導がなくとも，この様な問に答えていける力

が東大入試には必要です。そして，

この様な問題に自分で答えていく力をつけることが物理の学習

に他なりません。

東京大学　物理対策講座　テキスト

この講座では，以上の点をふまえつつ，過去問の中から選りすぐりの問題を中心に解説し，重要となる点を確認していきます。必ず自力で問題を解いて解答用紙に書いてみてから動画を見て，解答のポイントなどを確認していってください。

そして，その後はどんどん過去問に挑戦してみてください！その際，付録の解答用紙をコピーして使い，解答を書いてみることをお忘れなく。東大の解答用紙はあまり広くない上に余計な罫線がついていて，やや使いにくいです。その中に，考え方と解答をサッとスマートに書けなければなりません。この点についても授業で触れますが，コツをうまくつかみ，書き方の練習もしっかりと行いましょう！

皆さんの健闘を期待し，合格を祈っています!!

中野　喜允

※テキスト冊子をご購入いただいた方へ

解答用紙は，動画視聴画面トップのテキストダウンロードボタンより入手して印刷してください。

＜目次＞

第１講　運動方程式を立てる問題（力学）…………………………………… p. 4
第２講　重心と２体問題（力学）　……………………………………………… p.16
第３講　回転に関わる問題（力学）……………………………………………… p.26
第４講　電気回路（電磁気学）…………………………………………………… p.36
第５講　導体棒の運動（電磁気学）……………………………………………… p.48
第６講　電磁誘導・荷電粒子の運動（電磁気学）……………………………… p.60
第７講　ホイヘンスの原理と波の伝播（波動）………………………………… p.70
第８講　波とエネルギー（波動）………………………………………………… p.84
第９講　熱力学　…………………………………………………………………p.100
第10講　原子と原子核　…………………………………………………………p.112

※本テキストは，一部問題において東京大学の入試問題を改変して使用しております。
詳細はテキストをご確認ください。

第１講　運動方程式を立てる問題（力学）

1　（解答用紙１）

図１のように水平面に対して45°の角度をなす斜面上に質量 M の直角二等辺三角形の物体Ａを斜辺の面が斜面と接するように置く。直角二等辺三角形の等しい２辺の長さを d とする。Ａの上面に質量 m で，大きさの無視できる小さな物体Ｂを置く。斜面上に原点Ｏをとり，水平右向きに x 軸，鉛直下向きに y 軸をとる。はじめ，Ａは上面が $y=0$ となる位置にあり，ＢはＡの上面の右端，すなわち，$(x,\ y)=(d,\ 0)$ の位置にある。空気の抵抗および斜面とＡの間の摩擦は無視できるものとする。重力加速度を g とする。

Ⅰ　ＡとＢの間の摩擦も無視できる場合に以下の問に答えよ。

⑴　図１のようにＡの右面に水平左向きに力 F を加えたところ，２つの物体は最初の位置に静止したままであった。F の大きさを求めよ。

⑵　力 F を取り除いたところ，ＡとＢは運動を開始した。その後，ＢはＡ上面の左端に達した。この瞬間のＢの y 座標を求めよ。

⑶　ＢがＡ上面の左端に達する直前のＢの速さ v を求めよ。

Ⅱ　図２に示すようにＡ上面の点Ｐを境にして右側の表面が粗く，この部分でのＡとＢの間の静止摩擦係数および動摩擦係数はそれぞれ μ，μ'（ただし $\mu>\mu'$）である。Ａ上面の点Ｐより左側は，なめらかなままである。問Ⅰ⑴と同様に，力 F を加えて両物体を静止させた。力 F を取り除いた後の両物体の運動について以下の問に答えよ。

⑴　μ が十分に大きい場合，ＢはＡ上面を滑り出さず，両物体は一体となって斜面を滑りおりる。このときの両物体の x 方向の加速度 a_x と y 方向の加速度 a_y を求めよ。

⑵　μ がある値 μ_0 より大きければＢはＡ上面を滑り出さず，小さければ滑り出す。その値 μ_0 を求めよ。

⑶　μ が μ_0 より小さい場合に，Ｂが最初の位置 $(x,\ y)=(d,\ 0)$ からＡ上面の左端に達するまでの軌跡として最も適当なものを図３の㈠〜㈭の中から一つ選べ。ここで Q_1，Q_2，Q_3 はそれぞれ，Ｂの最初の位置，ＢがＡ上面の点Ｐに達した瞬間の位置，ＢがＡ上面の左端に達した瞬間の位置を表す。また破線は直線 $y=x$ を示す。

< Note >

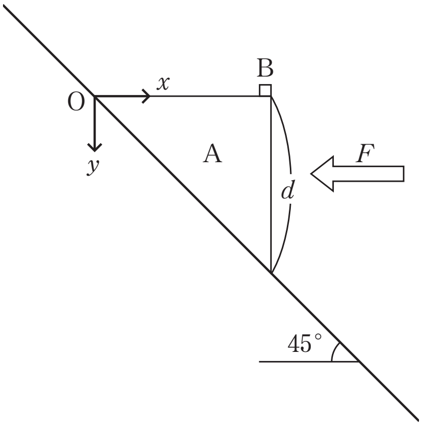


図１

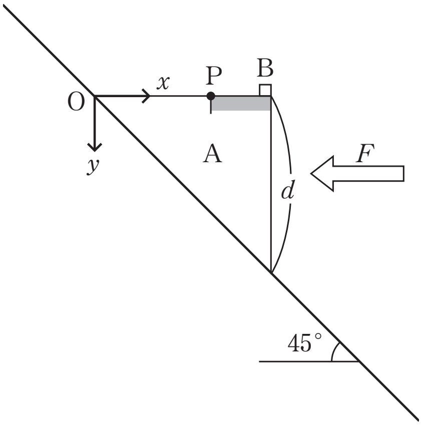


図２

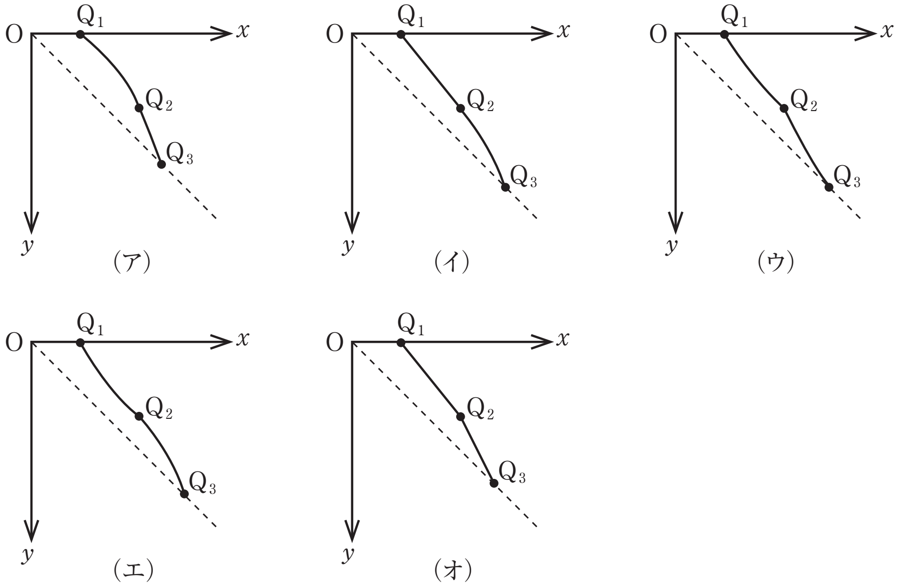


図３

＜ Note ＞

2（解答用紙１）

図１のように，鉛直に固定した透明な管がある。ばね定数 k のばねの下端を管の底面に固定し，上端を質量 m の物体１に接続する。質量が同じく m の物体２を，物体１の上に固定せずにのせる。地面上の一点Ｏを原点として鉛直上向きに x 軸をとる。ばねが自然長になっている時の物体１の x 座標は h であり，重力加速度の大きさは g である。

なお，物体の大きさは小さく，管との摩擦や空気抵抗は無視でき，x 方向以外の運動は考えない。ばねの質量は無視できる。また，管は十分長く，実験中に物体が飛び出すことはないものとする。

Ⅰ　物体１と物体２を，互いに接した状態で，物体１の x 座標が x_A となる位置まで押し下げ，時刻 $t=0$ に初速度０で放したところ，物体１と物体２は互いに接した状態で単振動を開始した。

⑴　この時の，物体１の単振動の中心の x 座標を答えよ。

⑵　物体１と物体２の x 方向の運動方程式をそれぞれ書け。各物体の加速度を a_1，a_2，物体１の位置を x，互いに及ぼす抗力の大きさを $N\,(N \geqq 0)$ とせよ。

⑶　x_A の値によっては，運動中に物体１と物体２が分離することがある。図２はこのような場合の物体の位置の時間変化を示す。運動方程式を使って，分離の瞬間の物体１の x 座標を求めよ。なお，図２では物体の大きさは無視されており，接している間の物体１と物体２の位置を１本の実線で表している。

⑷　分離の瞬間の物体１の速度を答えよ。また，分離が起きるのは，時刻 $t=0$ における物体１の位置 x_A がどのような条件を満たす場合か答えよ。

Ⅱ　物体１と物体２が分離した後の運動について考える。分離後，物体１は単独で単振動する。物体２は重力のために，分離後ある時間が経過した後に必ず物体１に衝突する。分離から衝突までの時間は時刻 $t=0$ における物体１の位置 x_A に依存する。ここで，分離から衝突までの時間が，物体１が単独で単振動する際の周期 T に等しくなるように，x_A の値を設定した。衝突の時刻を T_1 とする。

⑴　物体１が単独で単振動する際の周期 T を答えよ。また，物体１と物体２が衝突する瞬間（時刻 T_1）の物体１の x 座標を答えよ。

⑵　分離の瞬間の物体２の速度を V とする。分離から衝突までの時間が T となるための V の満たす式を書け。

⑶　物体１と物体２の間のはねかえり係数は１であるとし，時刻 T_1 における衝突以降の運動を考える。物体１と物体２が，T_1 以降に再び接触する時刻 T_2 と，その時の物体１の x 座標を答えよ。また，時刻 $t=0$ から $2T_1$ までの間で，横軸を時刻，縦軸を物体の位置とするグラフの概形を描け。物体の大きさは無視し，物体１と物体２が接した状態で運動している部分は実線，分離している部分は点線を用いよ。なお，横軸，縦軸共に，値や式を記入する必要はない。

＜ Note ＞

(4)　この場合の x_A を h, m, k, g を用いて表せ。

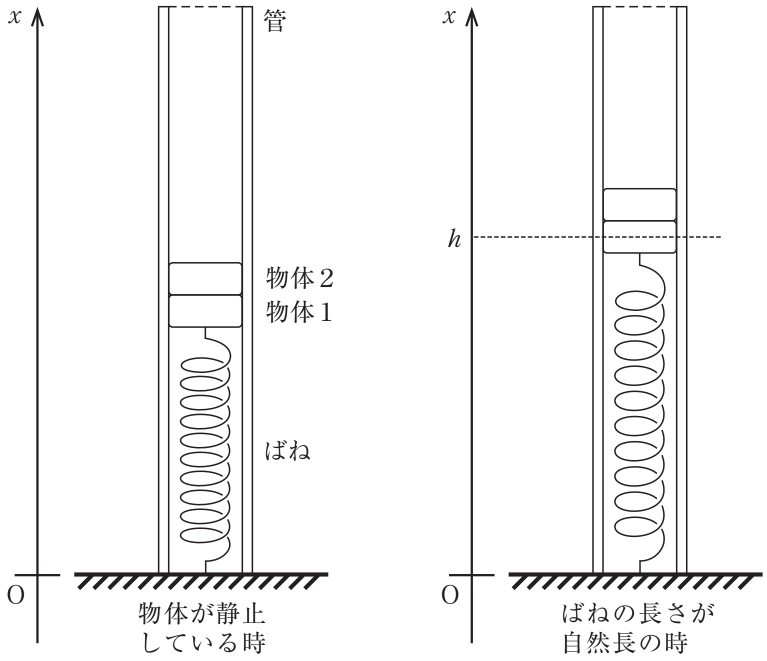


図１

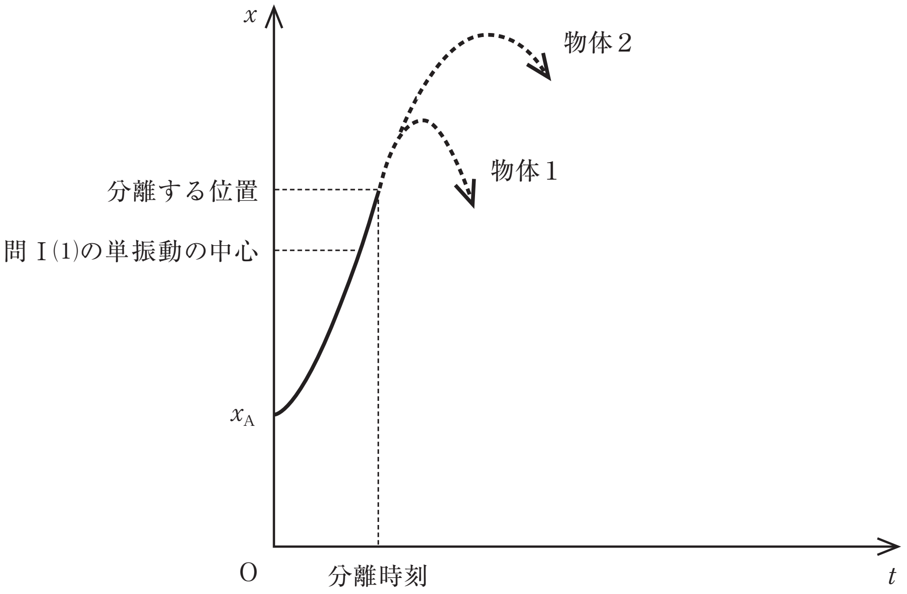


図２

＜ Note ＞

第１講　確認テスト

（解答用紙１）

図１に示すように，水平から角度 θ をなすなめらかな斜面の下端に，ばね定数 k のばねの一端が固定されている。斜面は点Ａで水平面と交わっており，ばねの他端は自然長のとき点Ａの位置にあるものとする。図２に示すように，質量 m の小球をばねに押し付け，斜面に沿って距離 x だけばねを縮めてから静かに手を離す。その後の小球の運動について，以下の設問に答えよ。ただし，重力加速度の大きさを g とする。また，小球の大きさとばねの質量は無視してよい。

⑴　$x=x_0$ のとき，手を離しても小球は静止したままであった。このときの x_0 を求めよ。

⑵　手を離したのち，小球が斜面から飛び出し水平面に投げ出されるための x の条件を，k，m，g，θ を用いて表せ。

⑶　$x=3x_0$ のとき，小球が動き出してから点Ａに達するまでの時間を求めよ。

次に，⑵の条件が成立し小球が投げ出されたあとの運動を考える。小球は点Ａから速さ v で投げ出されたのち，水平距離 s だけ離れたところに落下する。点Ａでの速さが一定の場合は，$\theta=45^\circ$ のとき落下までの水平距離が最大になることが知られているが，今回の場合は，θ によって v が変わるため，s が最大となる条件は異なる可能性がある。以下の設問に答えよ。なお，必要であれば，表１の三角関数表を計算に利用してよい。

⑷　v を x，k，m，g，θ を用いて表し，x が一定のとき，s が最大となる θ は 45° より大きいか小さいか答えよ。

⑸　s を x，k，m，g，θ を用いて表せ。

⑹　$x=\dfrac{2mg}{k}$ のとき，表１に示した角度の中から，s が最も大きくなる θ を選んで答えよ。

⑺　x を大きくしていくと，s が最大となる θ は何度に近づくか。表１に示した角度の中から選んで答えよ。

＜ Note ＞

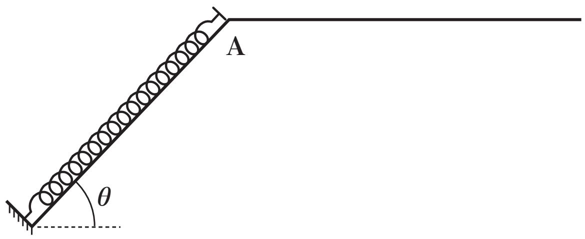


図１

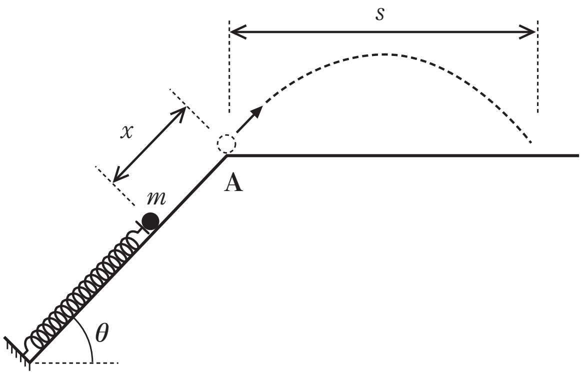


図２

表１

θ	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
$\sin\theta$	0.17	0.26	0.34	0.42	0.50	0.57	0.64	0.71
$\cos\theta$	0.98	0.97	0.94	0.91	0.87	0.82	0.77	0.71

θ	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
$\sin\theta$	0.77	0.82	0.87	0.91	0.94	0.97	0.98
$\cos\theta$	0.64	0.57	0.50	0.42	0.34	0.26	0.17

＜ Note ＞

テキスト解答

※本書に収録された解答・解説はスタディサプリが独自に作成したものです。

第１講　解答

1

Ⅰ　(1)　$(m+M)g$

　(2)　d

　(3)　$\sqrt{\dfrac{2(m+M)}{m+2M}gd}$

Ⅱ　(1)　$a_x=a_y=\dfrac{1}{2}g$

　(2)　1

　(3)　(イ)

2

Ⅰ　(1)　$h-\dfrac{2mg}{k}$

　(2)　物体１：$ma_1=k(h-x)-N-mg$　　物体２：$ma_2=N-mg$

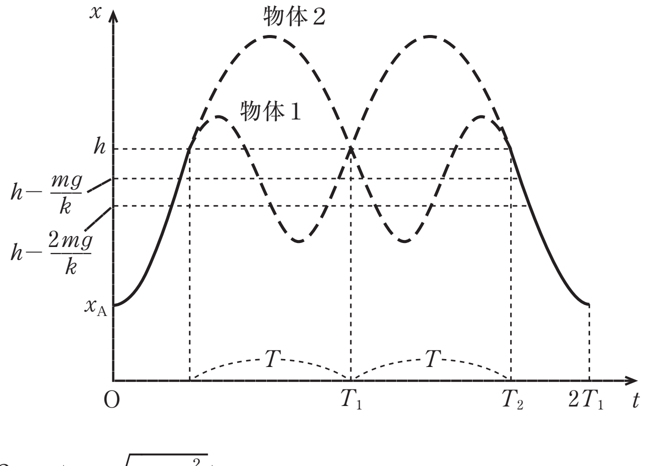
　(3)　h

　(4)　$\sqrt{\dfrac{k}{2m}(h-x_A)^2-2g(h-x_A)}$　　分離の条件：$x_A<h-\dfrac{4mg}{k}$

Ⅱ　(1)　周期：$T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　　x 座標：$x=h$

　(2)　$V=\dfrac{1}{2}gT$

　(3)　時刻：$T_2=T_1+T$　　x 座標：$x=h$



　(4)　$x_A=h-\dfrac{2mg}{k}\left(1+\sqrt{1+\dfrac{\pi^2}{2}}\right)$

確認テスト解答

第１講　確認テスト

【解答】

(1) $\dfrac{mg\sin\theta}{k}$　(2) $x>\dfrac{2mg\sin\theta}{k}$　(3) $\dfrac{2\pi}{3}\sqrt{\dfrac{m}{k}}$

(4) $v=\sqrt{\dfrac{kx^2}{m}-2gx\sin\theta}$　θ は 45° より小さい

(5) $\dfrac{kx}{mg}\left(x-\dfrac{2mg\sin\theta}{k}\right)\sin 2\theta$　(6) $\theta=25°$　(7) $\theta=45°$

【解説】

(1) 力のつりあい

$$mg\sin\theta=kx_0 \qquad \therefore\ \ x_0=\frac{mg\sin\theta}{k}$$

(2) 力学的エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}kx^2>mgx\sin\theta \qquad \therefore\ \ x>\frac{2mg\sin\theta}{k}$$

(3) 単振動の周期の$\dfrac{1}{3}$

$$\therefore\ \ \frac{1}{3}T=\frac{2\pi}{3}\sqrt{\frac{m}{k}}$$

(4) 求める速さ v は，力学的エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}kx^2-mgx\sin\theta \qquad \therefore\ \ v=\sqrt{\frac{kx^2}{m}-2gx\sin\theta}$$

一定の x に対し，θ が小さい方が v が大きくなるので，$\theta=45°$ のときに比べ，s が大きくなりうる。　∴ θ は 45° より小さい。

(5) 小球が投げ出された後，水平面に落下するまでの時間は　$2\times\dfrac{v\sin\theta}{g}$

$$\therefore\ \ s=v\cos\theta\times\frac{2v\sin\theta}{g}=\frac{kx}{mg}\left(x-\frac{2mg\sin\theta}{k}\right)\sin 2\theta$$

(6) $x=\dfrac{2mg}{k}$ のとき，

$$s=\frac{4mg}{k}(1-\sin\theta)\sin 2\theta$$

$(1-\sin\theta)\sin 2\theta$ の値を，$\theta=45°$ 以下で，表の値を用いて調べると，

θ	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
$(1-\sin\theta)\sin 2\theta$	0.28	0.37	0.42	0.45	0.44	0.40	0.35	0.29

よって，$\theta=25°$ で s は最も大きくなる。

(7) (5)の結果より，x が $\dfrac{mg}{k}$ に比べて十分大きいとき

$$s\rightarrow\frac{kx^2}{mg}\sin 2\theta$$

よって，s が最大となる θ は，$2\theta=90°$　∴ $\theta=45°$ に近づく。